

# 山地溪流における水系網の地質別の特徴

## THE STREAM NETWORK CHARACTERISTICS ON GEOLOGY TYPES IN MOUNTAINIOUS WATERSHEDS

村上 泰啓<sup>1</sup>・水垣滋<sup>2</sup>  
Yasuhiro MURAKAMI, Shigeru MIZUGAKI

<sup>1</sup>正会員 独)寒地土木研究所 寒地河川チーム 主任研究員 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

<sup>2</sup>正会員 独)寒地土木研究所 水環境保全チーム 研究員 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

**Key Words :** Airborne laser altimetry, Drainage pattern, Bifurcation ratio, Geology

### 1. はじめに

河川からの流出現象は降雨や降雪など気象要因の非均質性や標高分布, 地質, 水系網パターン, 地殻変動などの地理的要因に影響を受ける<sup>1)</sup>と考えられる。こうした水系網パターンの特徴を定量的に評価する試みはHorton<sup>2)</sup>やStrahler<sup>3)</sup>によってなされ, Howard<sup>4)</sup>が水系網パターンを地質, 火山, 断層, 降水量などにより6タイプ(*Dendritic, Parallel, Trellis, Rectangular, Radial, Annular*)に体系化している。わが国では1980年代以降, 国土数値情報DEM(Digital Elevation Model)を利用した地形研究<sup>5)6)7)8)</sup>が行われ, 地質と地形(水系網)の評価が試みられてきた。ここ数年一般的になった航空レーザー計測によって得られた地表面の高解像度DEMを用い, 従来の陰影図よりも視覚表現を向上させた千葉<sup>9)</sup>らのレリーフ図による微地形表現の試みも行われている。しかしながら, 水系網の特徴を航空レーザー計測結果を用いた客観的手法で再評価した例は少ない。一級河川沙流川流域(図-1)は多様な地質で構成され, 地質により斜面崩壊形態や土砂生産特性が大きく異なる<sup>10)</sup>ことが知られている。ここでは, 特徴的な地質毎にどのような地形特性があるのかを航空レーザー計測で得られた高解像度の地形データとGIS手法を用いて明らかにした結果を報告する。

### 2. 方法

2005年度, 2006年度にかけ, 北海道開発局で実施した航空レーザー計測は全道の一級河川や砂防区域, 火山(樽前山)がカバーされている。計測範囲は河川中下流の平野部が概ね網羅され, 上流部は主要な河道とその周辺までである。利用可能なデータは, 植生からの反射を含む標高データ, 地表面の標高データ, 簡易オルソ画像が含まれる。データは約2×1.5kmの区画で整理され, 個々にナンバリングされている。1区画あたりの地表面の三次元データ個数は多いもので34万点を超え, 容量にして約11MBある。

寒地土木研究所ではこれらデータの著作権を持つ測量会

社との間でデータ利用に関する協定を結び, 全てのデータをネットワークサーバに複写し, 利用環境を整備した。全データの容量は約1.7テラバイトである。

#### (1)DEM解像度の設定

DEM(Digital Elevation Model)の解像度は水系パターンを推定する上で重要である。たとえば, 図-2上段は航空レーザー計測から得られた解像度2mのDEMを解像度6mに平均化し, 陰影図に加工したものである。同じエリアを数値地図50mメッシュ(標高)データを用いて陰影図としたものが図-2下段である。水系網の特徴はDEM解像度が高いほうがより詳細に把握できることは明らかといえる。沙流川流域における地形を上記のDEMから目視で判読した結果, 最も開折の進んだ地形を有する新第三紀の地質領域において, 谷の間隔が概ね100-200mであることが読み取れた。処理の効率化を図るため, DEM解像度を間引く必要があったため, 画像の解像度と判読可能な面積の限界を机上検討<sup>11)</sup>した結果を参考に, DEM解像度を谷間隔の10分の1以下の6mとし, GISにより6m解像度のDEMとしてリサンプリングした。

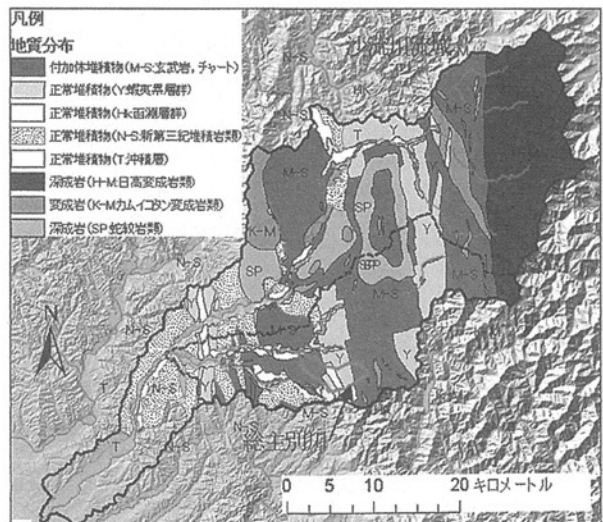


図-1 沙流川流域の概略地質分布 (流域周辺の陰影図は数値地図標高(50m)を利用してGISで作成)

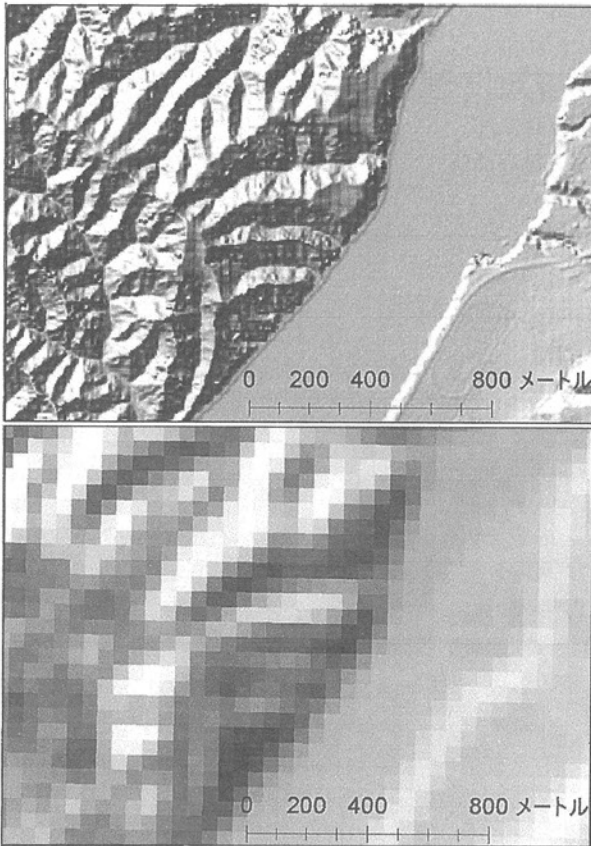


図-2 DEM解像度の違いによる地形表現の差

### (2) GISを利用した水系網の推定

水系網の推定はESRI社製ArcMap9.3の地形解析エクステンションであるSpatial Analystを利用した。作業手順は図-3に示す。レーザー計測により得られた標高資料は平面直角座標系(沙流川は12系)の座標・標高のデータが並んだテキスト形式のデータであり、GISソフトで利用可能な形式にするのに若干の加工が必要である。水系網の次数はStrahler<sup>3)</sup>の方法に従った。

### (3) 検討領域の選定

水系網の推定にあたっては、これまでの現地調査を行っ

- ① 航空レーザー計測結果 (x, y, z) の読み込み: テキストデータをACCESSで開き, dbase5形式でエクスポート。
- ② ArcMapのデータの追加で①のファイルを開き, ポイントshapeファイルに変換
- ③ ②をSpatial Analyst(以後S. A. と略記)の機能でラスタ(面)に変換
- ④ ③をS. A. の水文解析機能であるHydrology Modelingツールを用いて小流域, 河道を抽出
- ⑤ ④で求めた小流域の面積や河道長をフィールド演算により算出
- ⑥ 小流域, 河道の最小・最大標高をSpatial Analystのゾーン統計で抽出

図-3 GISを用いた水系網及び特徴量抽出手順

た結果, 斜面崩壊や河床材料が特徴的な, 以下の地質領域を選定した。

#### ① 新第三紀堆積岩類 (正常堆積物)

二風谷ダム貯水池右岸域に広がる領域で, 発達した高低差のある谷構造を有する。基盤岩は比較的固結度の低い砂岩が多くみられ, 2003年8月豪雨で発生した斜面崩壊は表層崩壊状のものが主であった。崩壊箇所直下にみられる土砂は海浜砂状のものが多く。

#### ② 蝦夷累層群及び函淵層群 (白亜紀の正常堆積物)

額平川支川総主別川中流域に広がる領域で, 2003年8月豪雨後の現地踏査の結果, 地すべり性の斜面崩壊が多くみられた領域である。基盤岩は固結度の低い泥岩, 砂岩が大半で, 斜面崩壊した基盤岩は短期間にスレーキングを起こし, 数ミリ程度に細粒化(写真-1)する。地形図を見ると比較的緩やかな山地が形成されている。

#### ③ 生代-古代三紀の堆積岩類 (ペルム紀の付加体堆積物)

額平川支川総主別川上流域に広がる領域で, 2003年8月豪雨後の現地踏査の結果, 表層崩壊性の斜面崩壊が多くみられる領域である。基盤岩は硬質なチャート, 緑色

表-1 新第三紀(N-S)領域の小溪流の諸元

流域番号 ID	Area A (km <sup>2</sup> )	河道長 L (km)	min標高 a (m)	max標高 b (m)	比高 (m) Dh=b-a	流路密度 L/A	河道頻度 N1/A	分岐比Rb n1/n2	河道 次数	1	2	3	4	5
										n1	n2	n3	n4	n5
81	0.0366	0.355	54.6	179.9	125.3	9.71	82.02	3.00	3	1				
85	0.0405	0.566	59.9	183.8	123.9	13.96	221.95	9.00	9	1				
48	0.0389	0.581	68.5	195.8	127.3	14.94	231.45	9.00	9	1				
54	0.0492	0.64	57.3	181.8	124.5	13.00	162.53	4.00	8	2	1			
57	0.0229	0.288	60.4	185.3	124.9	12.59	43.73		1					
60	0.0397	0.619	57.3	181.8	124.5	15.58	201.35	8.00	8	1				
121	0.0170	0.293	67.0	178.1	111.1	17.20	117.44	2.00	2	1				
69	0.0335	0.359	69.1	203.6	134.5	10.73	59.77	2.00	2	1				
67	0.3176	3.644	59.3	240.8	181.5	11.47	75.56	4.80	24	5	2	1		
79	0.0679	0.816	55.4	183.0	127.6	12.03	103.16	3.50	7	2	1			
181	0.1400	1.737	48.9	228.4	179.5	12.40	135.66	6.33	19	3	1			
307	0.0758	0.962	47.1	228.3	181.2	12.69	79.14	6.00	6	1				
225	0.0535	0.638	88.4	229.0	140.6	11.92	168.09	3.00	9	3	1			
252	0.0290	0.328	78.1	219.4	141.3	11.33	172.66	5.00	5	1				
平均						12.82	132.46	5.05						

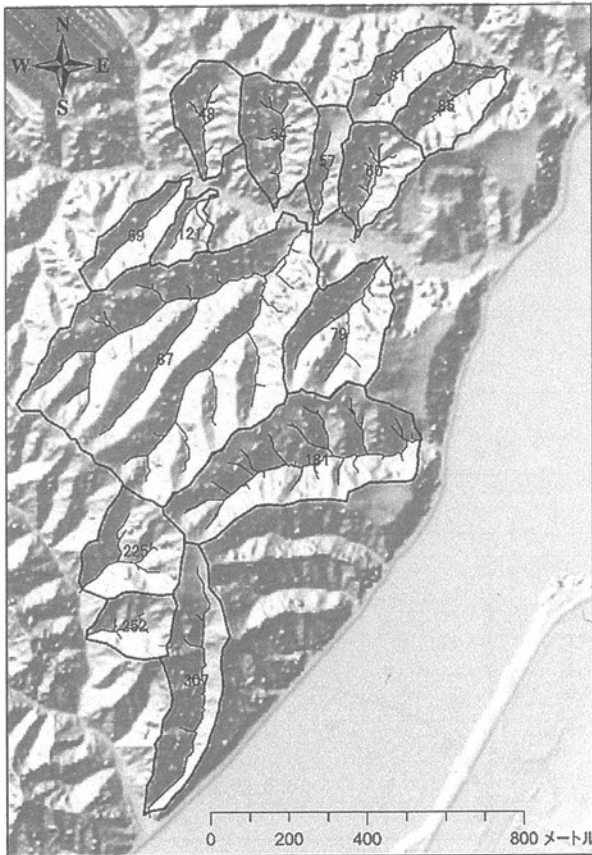


図-4 新第三紀(正常堆積物)の地質領域において抽出した小溪流の流域界(黒枠)と河道(水色)

岩、玄武岩が分布し、河床材料は最大2m程度の巨礫が散在(写真-2)する。なお、表層崩壊した斜面は基盤岩が露出する場合が多く、地形図を見ると比較的急峻な山地が形成されている。

### 3. 結果

#### (1). 正常堆積物(新第三紀)

前述の方法に基づき、沙流川流域における新第三紀の地質領域で実施された航空レーザー航測結果をGIS上で陰影図とし、流域界及び水系網を出力した結果を図-4に示す。これによれば、比較的入り組んだ谷構造であることが判読できる。前述のHoward<sup>4)</sup>の水系パターン分類では柵状(Trellised)に近いものや平行状(Parallel)とみられる水系パターンが読み取れる。抽出した小流域毎に発生させた水系図をStrahlerの方法で次数を付与し、集計した結果(面積、流域内の河道長、標高、比高、河道次数、分岐比)を表-1に示す。図-5は横軸に水系の次数、縦軸に次数毎の河道本数を対数で示したものであり、これによれば、河道次数と河道数はStrahler<sup>3)</sup>が指摘したような指数関数的な関係にあることがわかる。水系網の複雑さを示す指標のひとつである分岐比Rbは下流側の河道が上流で何本に分岐するかという指標であり、ここではHorton<sup>2)</sup>が示したように1次河道数を2次の河道数で除して求めた。これによれば、N-S領域の分岐比の平均値は5.05であった。

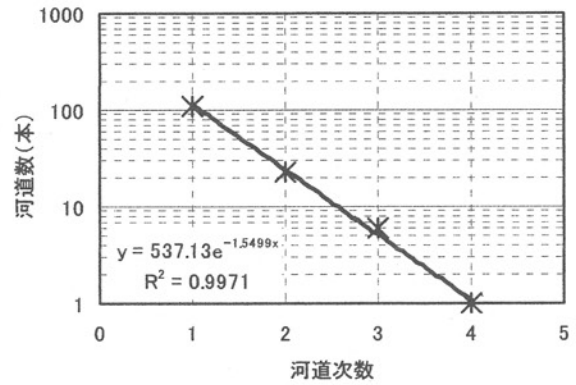


図-5 新第三紀の地質領域の河道数と次数の関係

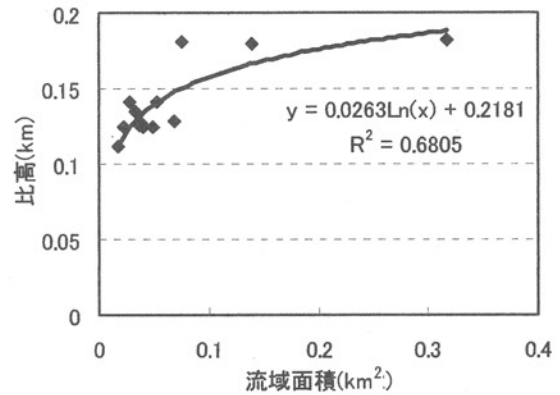


図-6 抽出した流域の比高と面積の関係

次に、抽出した小流域の面積と比高の関係を図-6に示す。これによると、流域面積が小さくても比高が100m以上あり、流域面積が大きくなっても比高はそれほど増加しない。これは、浸食前の地形が比較的平坦であり、その後浸食が進んだ、という可能性を示唆するものであると考えられる。

#### (2). 正常堆積物(蝦夷累層群及び函淵層群:白亜紀)

額平川支川総主別川中流部、三の沢における蝦夷累層群の領域における航空レーザー計測結果から作成した陰影図及び抽出した流域界及び水系網を出力した結果を図-7に、抽出した小流域の面積、流域内の河道長、標高、比高、河道次数、分岐比などの指標を表-2に示す。

図-7に示すように、白亜紀の泥岩を主体とした蝦夷累層群の水系パターンはHowardのDendritic(樹木状)に該当すると思われる。別途行ったレリーフ図による判読<sup>10)</sup>では、当該流域を含む蝦夷累層群の領域では広範に地すべり性の斜面崩壊及び痕跡がみられている。図-8に、河道次数と河道数の関係を示した。図中の近似式のベキ数は近似式の傾きを表し、負の値が大きくなると、分岐比(低次の河道数/高次の河道数)が小さくなることを意味する。この点から図-5の新第三紀の関係と比較してみると、近似式のベキ数は新第三紀が約-1.55、蝦夷累層群は約-1.32であり、蝦夷累層群の方が分岐比が低い。実際に河道の次数を計測して求めた分岐比の平均値(表-2)を表-1の値と比較す

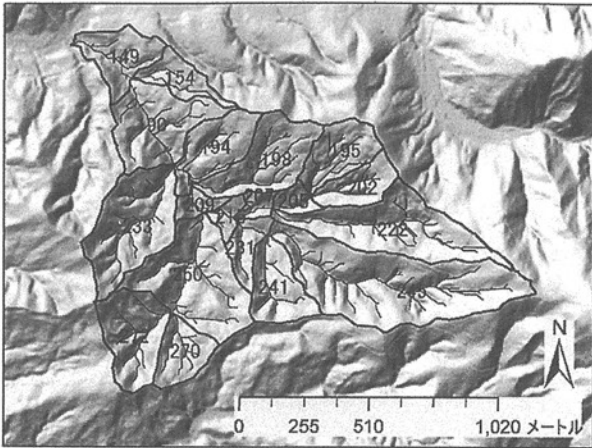


図-7 蝦夷累層群(正常堆積物)の地質領域において抽出した小溪流の流域界(黒枠)と河道

ると、同様に分岐比が低い傾向が示された。

次に比高と流域面積の関係を図-9にプロットした。これによれば、比高は流域面積の増加に対し急激に上昇し、流域面積が0.05km<sup>2</sup>を超え、比高が75mを超えると、比高の上昇の程度が緩和する傾向が見られる。まだサンプル数が少ないので評価は難しいが、地すべりが多いことと比高が頭打ちの傾向を示すことには例えば、比高が大きい流域では地すべりの発生が多くなり、地質領域全体として比高の高い領域が少なくなる、といったことも考えられる。

### (3). 付加体堆積物 (中生代-古第三紀)

総主別川上流部、右支川、総主別川本川最上流部における航空レーザー計測結果から作成した陰影図及び抽出流域、河道を図-10に、抽出した小流域の面積、流域内の河道長、標高、比高、河道次数、分岐比などの指標を表-3に示す。水系パターンはDendritic(樹木状)であるといえる。河道数と次数の関係を図-11で見ると、近似式のべき指数-1.462は蝦夷累層群の値(約-1.32)よりも大きく、新第三紀の値(約-1.55)よりも小さい。この比高の大きさは図-12に示すとおり、例えば流域面積が0.1km<sup>2</sup>で比較すると、新第三紀の比高が約150m(図-6)、蝦夷累層群の比高が約100m(図-9)であるのに対し、付加体堆積物の領域では300mを越えることから、当該地質領域では比高が大きな流域で構成されていることが明らかとなった。また、分岐比でみると、今回対象とした3つの地質中最も低い分岐比(表-3下段のRb平均値)であることが分かる。これ

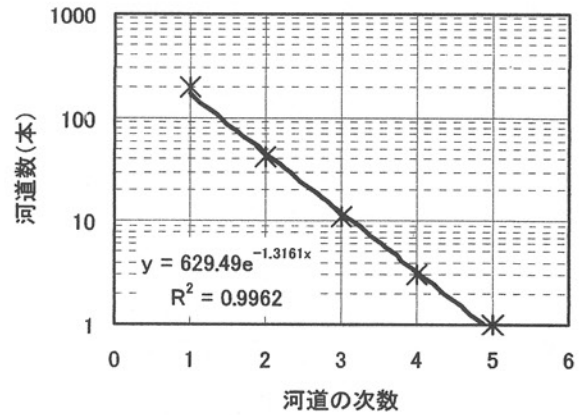


図-8 蝦夷累層群領域の河道数と次数の関係

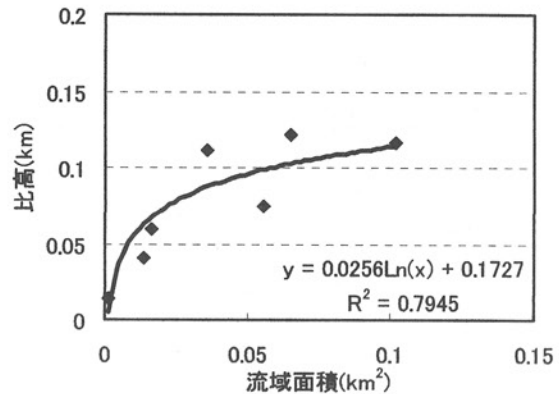


図-9 抽出した流域の比高と面積の関係

は、流域全体が比較的大きな谷によって構成され、水系網の分岐が比較的小さいことを示唆していると考えられる。

## 5. 結論

航空レーザー計測結果を用い、地質毎に水系網の特徴や比高の分布を調査した結果を以下に整理する。

新第三紀堆積岩類(正常堆積物)の領域は流域が比較的小さい場合でも、比高が100m程度あり、分岐比もRb=5.05と比較的高い。従って、小流域であっても標高差のある谷密度の高い流域であるということ。一方、付加体堆積物の領域は、流域が小さくても比高が200mを超え、

表-2 正常堆積物(蝦夷累層群: Y)領域の小溪流の諸元

流域番号 ID	流域面積 A (km <sup>2</sup> )	河道長 L(km)	min標高 a(m)	max標高 b(m)	比高(m) Dh=b-a	流路密度 L/A	河道傾度 NI/A	分岐比Rb n1/n2	河道 次数	1	2	3	4	5
										n1	n2	n3	n4	n5
214	0.1522	1.834	280	448	168	12.05	98.57	5.00		15	3	1		
250	0.2726	3.564	321	466	145	13.07	128.39	3.89		35	9	3	1	
231	0.3222	4.320	334	717	383	13.41	133.44	4.78		43	9	2	1	
233	0.1234	1.666	309	466	157	13.50	137.75	5.67		17	3	1		
195	0.2657	4.097	333	702	369	15.42	127.98	6.80		34	5	2	1	
198	0.0874	1.423	315	461	146	16.27	125.83	3.67		11	3	1		
平均						13.95	125.33	4.97						

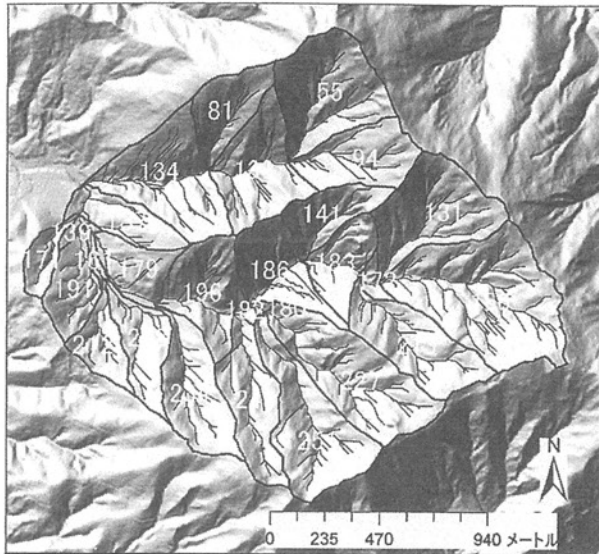


図-10 付加体堆積物（チャート、緑色岩）の地質領域において抽出した小溪流の流域界（黒枠）と河道（水色）

分岐比が $R_b=4.3$ と比較的小さい。これは流域が比較的高低差のある大きな谷で構成されていることを示すものと考えられる。蝦夷累層群（正常堆積物）の領域は、以上の2つの地質の中間的な値 $R_b=4.9$ を示す。

航空レーザー計測結果を用い、古典的な手法で水系網の分析を行い、地質による水系網の違いを一定程度明らかにすることができたと考える。しかしながら、水系網の特徴と土砂生産の関連性について理解を進める事は出来なかったため、今後、サンプル数を増やすほか、航空レーザー計測資料の2時期の比較により、地質及び水系網と土砂生産との関連性についての調査を試みたい。

謝辞：本研究は国土交通省北海道開発局から航空レー

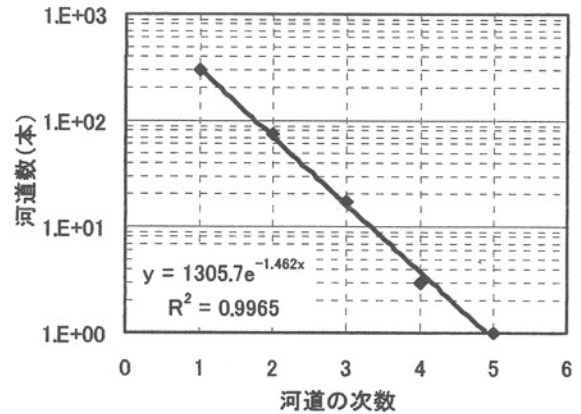


図-11 付加体堆積物領域の河道数と次数の関係

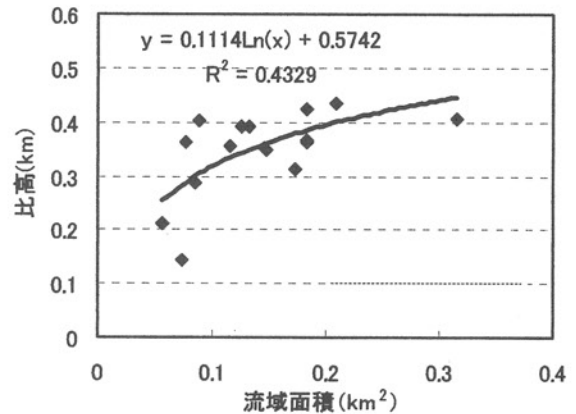


図-12 抽出した流域の比高と面積の関係

ザー計測結果の提供を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。

表-3 付加体堆積物(M-S)領域の小溪流の諸元

流域番号 ID	流域面積 A (km <sup>2</sup> )	河道長 L(km)	min標高 a(m)	max標高 b(m)	比高(m) Dh=b-a	流路密度 L/A	河道頻度 n1/A	分岐比Rb n1/n2	河道 次数	1	2	3	4	5
										n1	n2	n3	n4	n5
55	0.1839	2.861	606	974	368	15.6	168.6	3.88		31	8	2	1	
81	0.0886	1.694	487	890	403	19.1	180.5	3.20		16	5	1		
94	0.1153	1.911	604	961	357	16.6	156.2	9.00		18	2	1		
130	0.1471	2.258	485	838	353	15.3	122.4	3.60		18	5	1		
134	0.1832	3.926	364	728	364	21.4	174.6	4.00		32	8			
131	0.1741	2.555	659	972	313	14.7	126.4	3.67		22	6	2	1	
141	0.0762	1.278	537	901	364	16.8	105.0	4.00		8	2	1		
166	0.3143	5.513	657	1063	406	17.5	146.3	3.29		46	14	3	1	
191	0.0724	1.310	380	522	142	18.1	124.4	3.00		9	3	1		
212	0.0566	0.977	405	617	212	17.2	211.9	3.00		12	4	1		
213	0.1475	2.191	627	976	349	14.9	176.3	5.20		26	5	1		
218	0.0857	1.425	406	695	289	16.6	163.4	2.80		14	5	1		
227	0.2096	3.139	505	941	436	15.0	124.1	5.20		26	5	1		
234	0.1322	1.821	432	822	390	13.8	136.1	3.60		18	5	1		
246	0.1264	1.772	478	868	390	14.0	142.4	6.00		18	3	1		
平均						16.2	149.6	4.3						

## 参考文献

- 1) 高橋裕・安藤義久・井上誠一(1981)：表日本の山地河川の流況特性に関する統計的研究. 第25回水理講演会論文集, 209-214
- 2) Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. Transaction of American Geophysical Union, 13, 350-361.
- 3) Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-attitude) analysis of erosional topography. Bulletin of Geological Society of America, 63, 1117 - 1142.
- 4) A.D.Howard, Drainage analysis in geologic interpretation : a summation, American Association of Petroleum Geologists Bulletin; November 1967;v.51; 2246-2259
- 5) 野上道男:数値地形分析の為の処理システム, 地形, 6, pp245-246, 1985
- 6) 須賀伸一:数値地形モデルの統計的分析による四国島の地形特性, 地理学評論, 58A-12, pp807-818, 1985.
- 7) 小松陽介:谷密度からみた蛇紋岩山地の特性, 地理学評論, 72A-1, pp30-42, 1999.
- 8) 岩橋純子:数値地形モデルを用いた地形分類手法の開発, 京都大学防災研究所年報, 37B-1, pp141-156, 1994.
- 9) 千葉達朗, 鈴木雄介, 平松孝晋:地形表現手法の諸問題と赤色立体地図, 地図, vol. 45, No. 1, pp27-36, 2007
- 10) 村上泰啓, 鈴木雄介, 池島剛:航空レーザー測量結果を用いた沙流川流域の微地形判読と基盤岩の土砂生産特性について, 河川技術論文集, 第14, pp127-132, 2008. 6.
- 11) 村上泰啓, 山下彰司:災害時の人工衛星資料を用いた地被判読の精度評価と効率化について, 河川技術論文集, 第12, pp151-156. 2006. 6.

(2010. 5. 14受付)

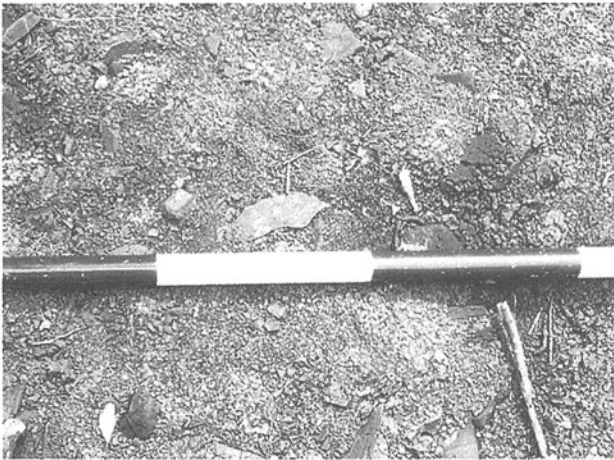


写真-1 総主別川三の沢の河床材料



写真-2 総主別川右支川の河床材料